



Aalborg Universitet

AALBORG UNIVERSITY
DENMARK

Solcelledrevet varmepumpe og smart energilagring på energirenoveret svømmehal

Mørck, Ove; Thomsen, Kirsten Engelund; Kjærulff, Dan; Moeller, Frederik

Published in:
H V A C Magasinet

Publication date:
2020

Document Version
Også kaldet Forlagets PDF

[Link to publication from Aalborg University](#)

Citation for published version (APA):

Mørck, O., Thomsen, K. E., Kjærulff, D., & Moeller, F. (2020). Solcelledrevet varmepumpe og smart energilagring på energirenoveret svømmehal. *H V A C Magasinet*, 2020(3), 24-29.
<https://ipaper.ipapercms.dk/TechMedia/HVACMagasinet/2020/3/?page=24>

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal -

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at vbn@aub.aau.dk providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Solcelledrevet varmepumpe og smart energilagring på energirenoveret svømmehal

I en svømmehal i Ballerup er der installeret solceller og en varmepumpe. Solcellerne producerer strøm til at drive varmepumpen, som derefter afleverer varmen til forskellige varmebehov i svømmehallen

Af Ove Christen Mørck, Kuben Management A/S, Kirsten Engelund Thomsen, Build AAU, Dan Kjærulff, Ballerup Kommune og Frederik Moeller, Schneider Electric

I forbindelse med energirenoveringen af East Kilbride svømmehallen i Ballerup opstod ideen om samtidigt at installere solceller og en varmepumpe. Når



Figur 1. Svømmehallen set indefra før renoveringen.

solcellerne producerer strøm, kan denne benyttes til at drive varmepumpen, som afleverer varmen til de forskellige varmebehov i svømmehallen: svømmebassin, varmtvandsbassin, varmt brugsvand eller rumopvarmning (via en varmeplade i ventilationsanlægget). Ved at styre varmepumpen intelligent (SMART) i forhold til elproduktion, el- og varmepriser og de øjeblikkelige behov og lagerkapaciteter – som kan øges ved midlertidigt at tillade lidt højere temperaturer i bassinerne – får man det bedst mulige udbytte af systemet.

Projektet er et samarbejde mellem Ballerup Kommune, Kuben Management, Schneider-Electric DK og Build AAU (tidligere SBi AAU). Deltagelse i dette projekt er blevet støttet af Energistyrelsen gennem EUDP.

kWh/m ²	Svømmehal nybyg	East Kilbride badet efter energirenovering
Selve bygningen – Be15	41,3	127,5
Ekstra varme (højere lufttemperatur)	131,3	131,3
Ekstra varme til brugsvand	74,3	74,3
Ekstra el til ventilation	137,8	137,8
Ekstra el til belysning	78	78
Samlet energiramme	462	549
PV bidrag – el		-21,7
PV-VP bidrag varme		- 65,4
Resulterende energiramme:		462

Tabel 1. Energirammeberegning efter BR15 (inkl. primær energifaktor). Svømmehallen er på ca. 3200 m².



Figur 2. Svømmehallen efter renoveringen.

Indledende undersøgelser

Ved projektets start blev der sat gang i en afklaring af de mange problemstillinger, som projektet stod overfor. Forløbene omhandlede følgende fem områder:

- Udførelse af energirammeberegning og ansøgninger til Energinet.
- Valg og placering af solceller (PV).
- Installation af energimålere og detaljeret analyse af varmemeforbrugene.
- Valg og placering af varmepumpe (VP).
- Indpasning af varmepumpe i den eksisterende installation.

Der blev til at starte med udført en energirammeberegning, der viste, at svømmehallen efter energirenoveringen, som primært omfattede installation af nye velisolerede tagkassetter, øget anden isolering samt nyt LED-belysningsanlæg, og installation af solceller og varmepumpe, har en samlet energiramme, der modsvarer en energiramme for en ny svømmehal bygget efter BR15. Energiberegningen blev lagt til grund for en dispensationsansøgning fra kommunen om at undgå kravet om selskabsdannelse for PV-anlægget. Denne blev imødekommet i august 2017.



Figur 3. Illustration af placering af solceller på omklædningsrummet til TopDanmark-hallen.

Valg og placering af solceller

Den oprindelige idé var at anvende kombinerede solceller og solfangere – såkaldte PVT-elementer. Der blev indhentet prisoverslag hos to danske leverandører af PVT-elementer, som havde et prisniveau, der var en del højere end PV-anlæg,

og det blev besluttet at gå videre med en ren PV-løsning. Derefter ansøgte kommunen om at få tilladelse til nettoafregning (efter bestemmelserne i Bekendtgørelse nr. 999 af 29/06/2016 fra Energistyrelsen fritages en stor egenproducent (installeret effekt > 50 kW) for at betale beløb til dæk-

ning af pristillæg til miljøvenlig elektricitet i forhold til egetforbruget af elektricitet), som blev imødekommet ved udgangen af 2017.

Der er en hygrodiode som dampspærre i tagkassetterne på taget af svømmehallen. Det betyder, at solceller på stativ vil skygge for tagkassetterne og

dermed kunne forhindre, at hygrodioden virker korrekt. Kun solceller, der kan limes direkte på tagpappen, kunne derfor komme på tale, men disse blev fravalgt pga. pris-ydelsesforholdet.

Det endte med, at der blev lagt solceller på omklædningsrummet til TopDanmark-hallen, ►

Futura Z Pro

Ny rumtermostat i
ultra slankt og elegant design



Neotherm
THE FLOW OF ENERGY



Kompatibelt med
Neotherm Smart Home



Trådløst system



Genopladeligt
Lithium batteri



Ultra tynd



Komfort indstilling



Let at installere



Mange anvendelses-
muligheder



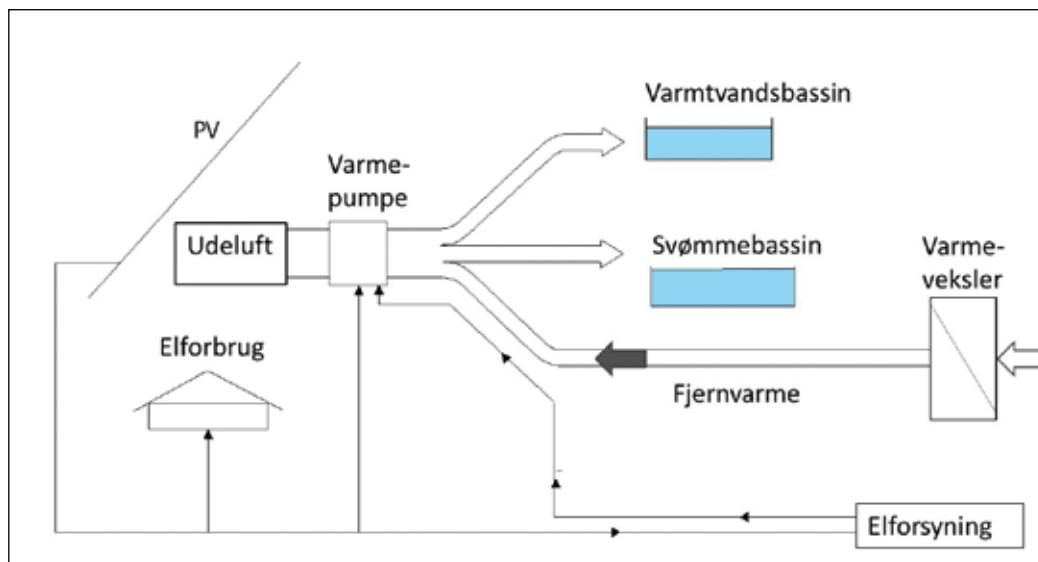
Fugtsensor

Futura Z Pro er en trådløs rumtermostat der anvendes sammen med et Neotherm gulvvarmesystem eller Neotherm Smart Home.



Læs mere på www.neotherm.dk

► Solcelledrevet varme-...
Fortsat



Figur 4. Endelig udformning af systemet med solceller og varmepumpe.

som er nabobygning til svømmebadet. Denne bygning er på samme matrikel som East-Kilbride-hallen og får leveret strøm via denne. Se illustration af oplægningen af solceller på figur 3, side 25.

Valg af varmepumpe

Samtidigt med fravalget af PVT-elementerne besluttedes det at undersøge alternativer til den termiske del af PVT-løsningen. Det første alternativ var Icopals energitag (som kan kobles på en væske-vand-varmepumpe), men det viste sig også at være for dyrt og heller ikke hensigtsmæssigt pga. afkølingen i taget, der kan skabe kondens på loftet i svømmehallen. Det andet alternativ var at lægge jordslanger (ligeledes til en væske-vand-varmepumpe), men det vurderedes også at være for dyrt i forhold til at anvende en luft-vand-varmepumpe, da den forventeligt højere effektivitet af jordvarmepumpen ikke ville være så udtalt, da størstedelen af den solcelleproducerede varmeproduktion vil

finde sted, når lufttemperaturen er på niveau med eller højere end jordtemperaturen. En luft-vand-varmepumpe blev derfor valgt.

Endelig valg af systemer og styring

Undervejs i forløbet blev der opsat nye energimålere, hvorfra der kunne trækkes dags- og timedata for de forskellige varmeforbrug. Analysen af disse måledata viste, at det ikke giver mening at levere varme til det varme vand til brugerne, da forbruget hertil er meget lille. Omvendt er den effekt, der er behov for til varmeblænde på ventilationsanlægget af og til meget stor ved et relativt højt temperaturniveau, så VP ikke kan dække det hele. Konklusionen på analysen af måledata viste således, at det



Figur 5. Varmvekslere til svømmebassin (forrest) og varmtvandsbassin (bagerst) i gammel installation.



Intervent A/S
"meget mere end installationer"

Ventilationsanlæg | Køleanlæg | Vvs-anlæg | Service på anlæg
www.intervent.dk | Tlf. 43 43 47 83 | intervent@intervent.dk



Figur 6. Ny veksler på fjernvarmen og rørinstallation for indføring af varme fra varmepumpen.

gav bedst mening at forsyne svømme- og varmtvandsbassin med varme fra varmepumpen. I realiteten vil det være særdeles sjældent, at der er mulighed for at levere varme tilbage til fjernvarmenettet, så det gav ikke mening at indbygge den mulighed. På samme måde vil stort set al den producerede solcellestrøm kunne bruges i svømmehallen, så de få gange, den evt. skal sendes direkte på nettet til lav pris, kan ikke retfærdiggøre installation og drift af et batteri, som var den op-

rindelige tanke. Den endelige udformning af systemet er illustreret på figur 4.

Til styringen blev der installeret et CTS-anlæg fra Schneider-Electric DK. Dette giver mulighed for at styre leveringen af varme fra VP på en af følgende muligheder i forhold til fjernvarmen (FV): Kun VP eller kun FV, eller VP som supplement til FV. Tilslutningen giver mulighed for at levere varme fra VP til det ene bassin, til det andet, eller til begge.

På figur 5 og 6 ses de to varmevekslere før renoveringen – og den nye rørinstallation omkring vekslerne, der gør det muligt at tilføre varmt vand fra varmepumpen i stedet for eller sammen med fjernvarmen. Styringen af varmeforsyningen af bassinerne er udformet således, at når solcelleproduktionen er over et vist niveau, og der samtidigt er et varmebehov i et af bassinerne, startes varmepumpen, og varme-



TriAir® Ventilationsanlæg

Et samlet koncept til boligventilation

**Vi gør det nemt for dig
- uanset om du har et lille eller et stort projekt**

Send dine projekttegninger til os, så beregner vi omkostningsfrit hvilket komplet ventilationsanlæg, du bør vælge.

Du får en optimal løsning der lever op til 2020 kravene og BR18.

Nem og enkel montering med Plug & Play og indregulering fra display uden brug af computer - det sparer tid ved montering.

Vi leverer fra dag til dag!

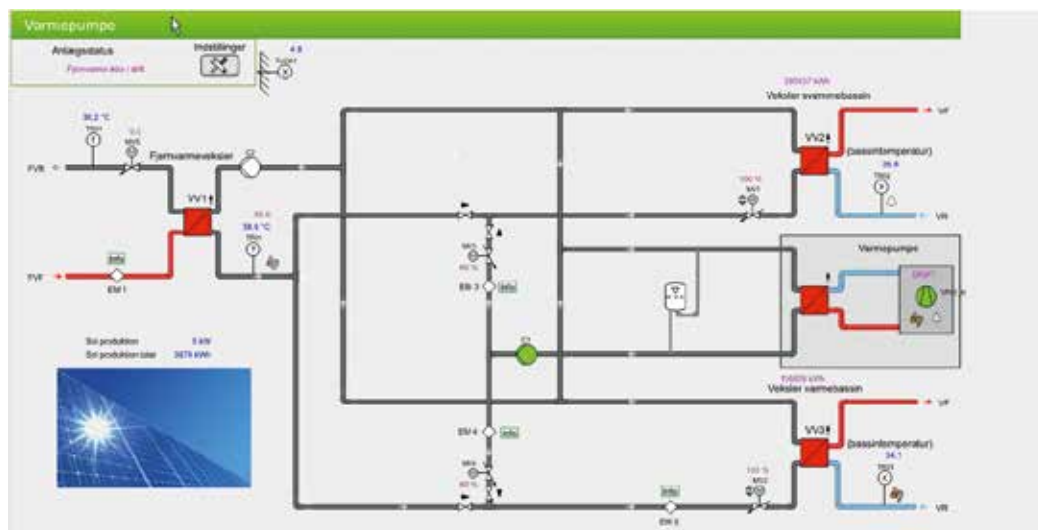
Kontakt os på
66 11 99 66

Vores teknikere sidder klar
til at hjælpe dig.

bq burcharth

BG Burcharth A/S Tlf.: 66 11 99 66 info@burcharth.dk www.burcharth.dk

Solcelledrevet varme-... Fortsat



Figur 7. Systemdiagram vist på CTS-anlægget.

behovet i bassinerne forsynes med varme fra varmepumpen. Hvis der ikke er et aktuelt varmebehov, anmodes vandbehandlingssystemet om at sætte den ønskede temperatur i svømmebassinet op med 0,5°C, hvorefter varmepumpen kan benytte dette bassin som varmelager og dermed øge udbyttet fra den soldrevne varmeproduktion. Undervejs skal styringen sørge for, at varmepumpen har en minimumsdriftsperiode på en halv time for at undgå, at den pendler unødigt. Endvidere indeholder styringen en mulighed for at styre efter varmepumpens COP i forhold til energipriserne, som viser, at med en fremløbstemperatur på 45°C kan der køres med VP for udetemperaturer over ca. 8°C. CTS-anlægget kan desuden monitorere systemets energimålere, motorventiler, pumper og temperaturer og vise status på et skærmbillede samt foretage en logning af disse data fra energimålerne. Det vil altid være muligt at trække energiproduktionen af varmepumpen og forsyningen af de to bassiner ud af målingerne samt information om de temperaturniveauer, der leveres varme ved fra VP.

Udfordringer

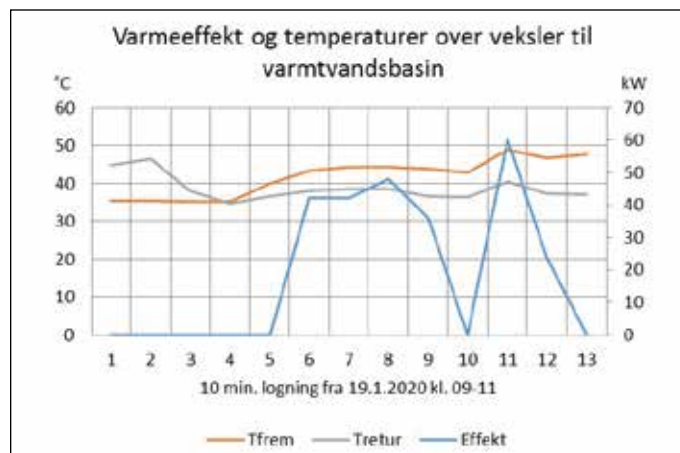
Hovedformålet var at demonstrere en version af et system baseret på vedvarende energi,

som er integreret SMART i en eksisterende energiforsyning af en svømmehal. De forskellige systemer, der indgår i løsningen: Solceller, varmepumpe, CTS-system og vandbehandlingssystem har alle en grænseflade for IT-kommunikation, så det kunne på papiret synes enkelt at få dem til at kommunikere sammen. Solcellerne og CTS-systemet kommunikerer via en såkaldt programmeret "API-forbindelse". Varmepumpen og energimålerne kommunikerer med CTS-systemet via en Modbus-protokol, men varmepumpen sender ikke detaljerede informationer om driften, for eksempel årsagen til en evt. fejltilstand. CTS-systemet skal sende et specielt signal til vandbehandlingsanlægget for at overstyre temperaturen i svømmebassinet. Informationsstrømmene fører i sidste ende til, at CTS-systemet optimalt kan skifte mellem fjernvarme og varmepumpe til dækning af behovet i de to bassiner. Målet blev nået, men ikke uden

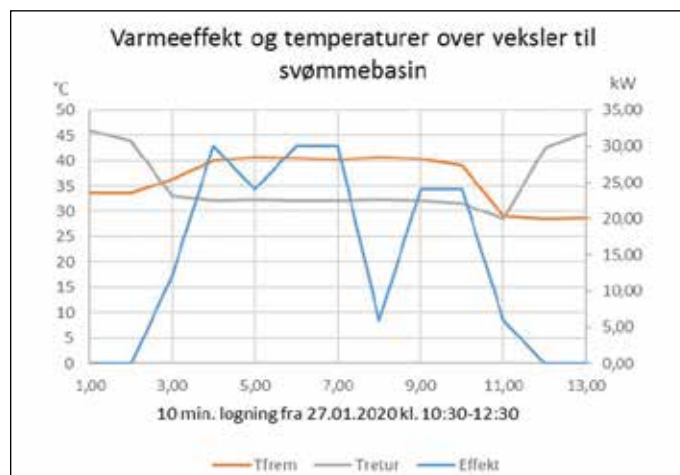
sværds slag. Læren er, at når man integrerer sådanne systemer i et samlet SMART-anlæg, er det nødvendigt først at undersøge, hvorvidt de enkelte komponents grænseflader tillader, at de kan "snakke sammen".

De første resultater

De første analyser af måldata fokuserede på at afklare, om varmepumpen kunne levere den ønskede varme, og at se på hvilket temperaturniveau den kunne arbejde på. Figur 8 viser den afgivne varmeeffekt samt tem-



Figur 8. Varmeeffekt fra varmepumpe til varmtvandsbassin og temperaturer forbundet hermed.



Figur 9. Varmeeffekt fra varmepumpe til svømmebassin og temperaturer.

peraturerne i kredsen over varmeveksleren til varmtvandsbassinet. Temperaturniveauet er vigtigt for varmepumpens COP, jo højere niveau, jo lavere COP.

Beregnete årsydelser

De oprindelige energirammeberegninger blev gentaget med den nu kendte størrelse og placering (retning og hældning) af solcellerne, de målte energiforbrug for svømmebassin og varmtvandsbassin og den installerede varmepumpe. På baggrund af de første måleresultater – eksemplificeret i figur 8 og 9 blev et gennemsnit af temperaturer for levering af varme fra varmepumpen beregnet. Varmepumpens ydelser ved forskellige udetemperaturer og leveringstemperaturer er skemalagt i henhold til EN14511-3:2011, og sammenholdt med en fordeling af ude-

temperaturer i det danske referenceår kunne en gennemsnitlig COP fastlægges, som blev anvendt i beregningerne af årsdriftsresultater. I beregningerne inkluderedes både varmepumpebidraget i de timer, den kan drives af strøm fra solcellerne, og de timer hvor varmepumpens COP er større end forholdet mellem de aktuelle el- og varmepriser. Beregningerne viste, at energirammeberegningerne stadig holder, både når man ser på de oprindelige lavet efter BR15 og nye beregninger efter BR18.

Økonomi

Kan det betale sig? Ballerup Kommune har investeret i solceller, varmepumpe, CTS-anlæg og forskellige nødvendige ekstra elinstallationer for ca. 1,85 millioner kroner. De beregnede besparelser ved solcelle-el

og -varmeproduktion er ca. 183.000 kroner. Tilbagebetalingstiden er dermed ca. 10 år. Anlægget medfører samtidigt en reduceret CO₂-udledning på ca. 80 tons pr. år.

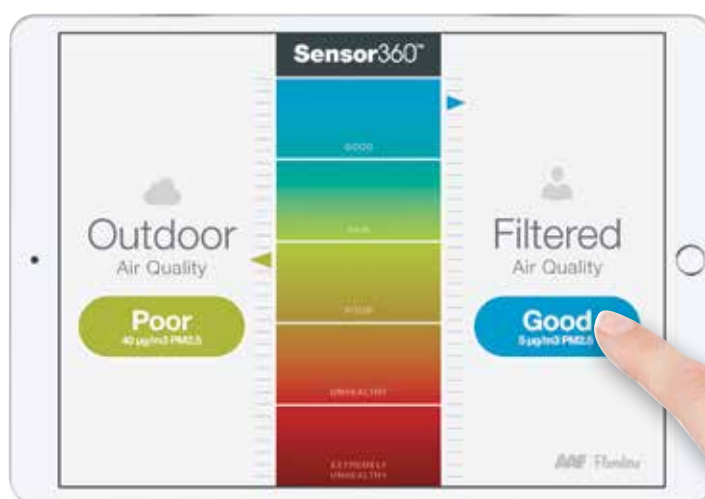
Fremtidsperspektiver

Brug af varmepumper i varmeforsyningen bliver mere og mere relevant, i takt med at afgifterne på elforsyning (formentlig) nedsættes over de kommende år, og CO₂-udledningen reduceres. Foreløbige tal fra Energinet viser, at den gennemsnitlige udledning af CO₂ fra elproduktion i 2019 var 150 g pr. kWh. Til sammenligning oplyser Vestforbrænding på sin hjemmeside, at den fossile andel af fjernvarmeproduktionen udleder ca. 85 g CO₂ pr. kWh. Når man med varmepumper får ca. 4 kWh varme ud af hver kWh el vil CO₂-udledningen herfra således være un-

der det halve af den fra fjernvarmeværket.

Energinet har brug for fleksibilitet i forbruget og produktionen af strøm, når elsystemet skal balanceres. Dette behov øges, efterhånden som andelen af fluktuerende vedvarende energiproduktion stiger. Allerede i dag er der tidspunkter hen over et år, hvor Energinet er udfordret med at få mængden af produktion og forbrug til at stemme. SMART varmelagring af for eksempel strøm fra vindmøller kan være med til at løse dette problem.

Der er ca. 1700 større idrætshaller og svømmehaller i Danmark. Den udviklede og demonstrerede teknik vil imidlertid også kunne anvendes på almenbebyggelser. Det samlede markedspotentiale i Danmark er dermed meget betydeligt. ■



American Air Filter søger testpiloter til nyt luftvåben.

Vil du være med til at realtime-teste filterværdier direkte på vores nye mobil app? Få et hurtigt og enkelt overblik over energiforbrug og filter performance via PM-målinger, filterovervågning med alarm for skift, udeluft PM-værdier via udendørs-sensor, filterperformance via PM-sensorer i ventilationsanlæg, trykdifference over filtret via DP-sensorer i ventilationsanlæg etc. App'en downloades på smartphone og er et brugervenligt, uvurderligt dagligt værktøj. **AAF Testpiloter tilbydes løsningen til særlig attraktiv pris. Kontakt Henrik Lassen på 70 26 01 66.**

